This is a digital copy of a book that was preserved for generations on library shelves before it was carefully scanned by Google as part of a project to make the world's books discoverable online.

It has survived long enough for the copyright to expire and the book to enter the public domain. A public domain book is one that was never subject to copyright or whose legal copyright term has expired. Whether a book is in the public domain may vary country to country. Public domain books are our gateways to the past, representing a wealth of history, culture and knowledge that's often difficult to discover.

Marks, notations and other marginalia present in the original volume will appear in this file - a reminder of this book's long journey from the publisher to a library and finally to you.

Usage guidelines

Google is proud to partner with libraries to digitize public domain materials and make them widely accessible. Public domain books belong to the public and we are merely their custodians. Nevertheless, this work is expensive, so in order to keep providing this resource, we have taken steps to prevent abuse by commercial parties, including placing technical restrictions on automated querying.

We also ask that you:

+ *Make non-commercial use of the files* We designed Google Book Search for use by individuals, and we request that you use these files for personal, non-commercial purposes.

+ *Refrain from automated querying* Do not send automated queries of any sort to Google's system: If you are conducting research on machine translation, optical character recognition or other areas where access to a large amount of text is helpful, please contact us. We encourage the use of public domain materials for these purposes and may be able to help.

+ *Maintain attribution* The Google "watermark" you see on each file is essential for informing people about this project and helping them find additional materials through Google Book Search. Please do not remove it.

+ *Keep it legal* Whatever your use, remember that you are responsible for ensuring that what you are doing is legal. Do not assume that just because we believe a book is in the public domain for users in the United States, that the work is also in the public domain for users in other countries. Whether a book is still in copyright varies from country to country, and we can't offer guidance on whether any specific use of any specific book is allowed. Please do not assume that a book's appearance in Google Book Search means it can be used in any manner anywhere in the world. Copyright infringement liability can be quite severe.

About Google Book Search

Google's mission is to organize the world's information and to make it universally accessible and useful. Google Book Search helps readers discover the world's books while helping authors and publishers reach new audiences. You can search through the full text of this book on the web at `http://books.google.com/`

Über dieses Buch

Dies ist ein digitales Exemplar eines Buches, das seit Generationen in den Regalen der Bibliotheken aufbewahrt wurde, bevor es von Google im Rahmen eines Projekts, mit dem die Bücher dieser Welt online verfügbar gemacht werden sollen, sorgfältig gescannt wurde.

Das Buch hat das Urheberrecht überdauert und kann nun öffentlich zugänglich gemacht werden. Ein öffentlich zugängliches Buch ist ein Buch, das niemals Urheberrechten unterlag oder bei dem die Schutzfrist des Urheberrechts abgelaufen ist. Ob ein Buch öffentlich zugänglich ist, kann von Land zu Land unterschiedlich sein. Öffentlich zugängliche Bücher sind unser Tor zur Vergangenheit und stellen ein geschichtliches, kulturelles und wissenschaftliches Vermögen dar, das häufig nur schwierig zu entdecken ist.

Gebrauchsspuren, Anmerkungen und andere Randbemerkungen, die im Originalband enthalten sind, finden sich auch in dieser Datei – eine Erinnerung an die lange Reise, die das Buch vom Verleger zu einer Bibliothek und weiter zu Ihnen hinter sich gebracht hat.

Nutzungsrichtlinien

Google ist stolz, mit Bibliotheken in partnerschaftlicher Zusammenarbeit öffentlich zugängliches Material zu digitalisieren und einer breiten Masse zugänglich zu machen. Öffentlich zugängliche Bücher gehören der Öffentlichkeit, und wir sind nur ihre Hüter. Nichtsdestotrotz ist diese Arbeit kostspielig. Um diese Ressource weiterhin zur Verfügung stellen zu können, haben wir Schritte unternommen, um den Missbrauch durch kommerzielle Parteien zu verhindern. Dazu gehören technische Einschränkungen für automatisierte Abfragen.

Wir bitten Sie um Einhaltung folgender Richtlinien:

+ *Nutzung der Dateien zu nichtkommerziellen Zwecken* Wir haben Google Buchsuche für Endanwender konzipiert und möchten, dass Sie diese Dateien nur für persönliche, nichtkommerzielle Zwecke verwenden.

+ *Keine automatisierten Abfragen* Senden Sie keine automatisierten Abfragen irgendwelcher Art an das Google-System. Wenn Sie Recherchen über maschinelle Übersetzung, optische Zeichenerkennung oder andere Bereiche durchführen, in denen der Zugang zu Text in großen Mengen nützlich ist, wenden Sie sich bitte an uns. Wir fördern die Nutzung des öffentlich zugänglichen Materials für diese Zwecke und können Ihnen unter Umständen helfen.

+ *Beibehaltung von Google-Markenelementen* Das "Wasserzeichen" von Google, das Sie in jeder Datei finden, ist wichtig zur Information über dieses Projekt und hilft den Anwendern weiteres Material über Google Buchsuche zu finden. Bitte entfernen Sie das Wasserzeichen nicht.

+ *Bewegen Sie sich innerhalb der Legalität* Unabhängig von Ihrem Verwendungszweck müssen Sie sich Ihrer Verantwortung bewusst sein, sicherzustellen, dass Ihre Nutzung legal ist. Gehen Sie nicht davon aus, dass ein Buch, das nach unserem Dafürhalten für Nutzer in den USA öffentlich zugänglich ist, auch für Nutzer in anderen Ländern öffentlich zugänglich ist. Ob ein Buch noch dem Urheberrecht unterliegt, ist von Land zu Land verschieden. Wir können keine Beratung leisten, ob eine bestimmte Nutzung eines bestimmten Buches gesetzlich zulässig ist. Gehen Sie nicht davon aus, dass das Erscheinen eines Buchs in Google Buchsuche bedeutet, dass es in jeder Form und überall auf der Welt verwendet werden kann. Eine Urheberrechtsverletzung kann schwerwiegende Folgen haben.

Über Google Buchsuche

Das Ziel von Google besteht darin, die weltweiten Informationen zu organisieren und allgemein nutzbar und zugänglich zu machen. Google Buchsuche hilft Lesern dabei, die Bücher dieser Welt zu entdecken, und unterstützt Autoren und Verleger dabei, neue Zielgruppen zu erreichen. Den gesamten Buchtext können Sie im Internet unter `http://books.google.com` durchsuchen.

KG
10642
NEDL TRANSFER
HN 6C5R 4

KG 10642

Harvard College Library

FROM

KG 10642

Harvard College Library

FROM

W

Phg 2204

Zur feierlichen Einführung

des

neuen Rectors der Universität

am

19. October 1902, Vormittags 11 Uhr

ladet ein

der zeitige Rector

Gustav Adolf Jülicher

Doctor der Theologie und Philosophie und ordentlicher Professor der Theologie.

Inhalt: Ueber Temperaturänderungen in künstlich auf- und abbewegter Luft. Von Prof. F. Richarz.

MARBURG

Universitäts-Buchdruckerei von Joh. Aug. Koch

1902.

KG 10642

~~Phg 2206.02~~

W. Jehn,

Hamburg, Germany

W.

Phg 2209.

Zur feierlichen Einführung

des

neuen Rectors der Universität

am

19. October 1902, Vormittags 11 Uhr

ladet ein

der zeitige Rector

Gustav Adolf Jülicher

Doctor der Theologie und Philosophie und ordentlicher Professor der Theologie.

Inhalt: Ueber Temperaturänderungen in künstlich auf- und abbewegter Luft. Von Prof. F. Richarz.

MARBURG

Universitäts-Buchdruckerei von Joh. Aug. Koch

1902.

10642

~~5 22.1.61~~

W. Jehn,
Marburg, Germany

Ueber Temperaturänderungen in künstlich auf- und abbewegter Luft.

Von

Prof. Dr. F. Richarz.

Zu der folgenden Untersuchung hat die von *Krigar-Menzel* und mir ausgeführte Bestimmung der Gravitationsconstante und der mittleren Dichtigkeit der Erde (Ausführliche Publication im Anhang zu den Abhandlungen der Berliner Akademie der Wissenschaften vom Jahre 1898) Anlass gegeben. Zu jener Bestimmung benutzten wir eine Wage, deren beide Schalen an ihren Unterseiten vertical herabhängende Stangen von rund 2 Meter Länge trugen, an deren unteren Enden wiederum ein Schalenpaar befestigt war. (Die gravitirende Masse befand sich in dem Raume zwischen den oberen und unteren Schalen.) Nach der ursprünglich von *A. König* und mir geplanten Methode (Sitz.-Ber. d. Berliner Akademie, 18. December 1884, pag. 1203) sollten die beiden äquilibrirten Massen sich bei einer ersten Wägung auf der rechten oberen und der linken unteren Schale der beschriebenen „Doppelwage" befinden; dann sollte für eine zweite Wägung erstere Masse nach rechts unten, letztere nach links oben gebracht werden. Bei der thatsächlichen Ausführung mussten *Krigar-Menzel* und ich eine andere Methode der Wagungen [mit einem complicirten System von Horizontalvertauschungen, während Verticalvertauschungen nur am Schluss jedes Arbeitstages vorgenommen wurden] benutzen, weil jene ursprünglich geplante sich als unausführbar erwies in Folge der Temperaturdifferenzen der Luft am Orte der oberen und dem der unteren Wagschalen. Denn wenn eines der zu äquilibrirenden Gewichte bei der Verticalvertauschung von der ersten zu der zweiten Wägung in kältere umgebende Luft gelangt, so erzeugt es um sich herum einen aufsteigenden Strom erwärmter Luft und erscheint, von diesem etwas mitgenommen, zu

leicht; das Umgekehrte tritt ein, wenn eines der Gewichte in wärmere umgebende Luft gelangt. Unser Beobachtungsraum in den Spandauer Casematten war nun zwar gegen die täglichen Temperaturschwankungen hinreichend geschützt, war aber noch zu starkem jährlichem Wechsel (von $+5^0$ bis $+12^0$) ausgesetzt, als dass auch nur annähernd die für die ursprünglich geplante Methode erforderliche Gleichheit der Temperatur am Orte der oberen und dem der unteren Wagschalen dauernd vorhanden gewesen wäre. (Schon Abweichungen von $\pm 0{,}01^0$ von jener Gleichheit machten, wie wir ermittelt haben, die Wägungen mit Verticalvertauschungen illusorisch.)

Man muss sich die Frage vorlegen, ob die erforderliche lokale Gleichheit der Temperatur nicht in einem noch besser geschützten Raume zu erreichen gewesen wäre, ohne Zuhülfenahme von Wasserspülung in einem umgebenden Rohrsystem o. ä. Nun wäre aber durch die ursprünglich geplanten Verticalvertauschungen der Gewichte, auch wenn sie vermittelst des in der That benutzten Mechanismus von einem Platze ausserhalb des eigentlichen Wägeraumes vorgenommen wurde, immer wieder von Neuem die Luft in letzterem in verticale auf- und niedersteigende Strömungen versetzt worden, und dadurch wäre der Unabhängigkeit der Temperatur von der Höhe eine Grenze gesteckt worden. Denn in Luftmassen, die von auf- und absteigenden Strömen durchsetzt werden, muss sich diejenige Temperaturabnahme mit der Höhe ausbilden, welche nach Sir *William Thomson* (Lord *Kelvin*) als Zustand des „convectiven Gleichgewichts" bezeichnet wird. (On the convective Equilibrium of temperature in the Atmosphere. Mem. of the Phil. Soc. of Manchester. III. Ser., Bd. II, p. 126, 1862).

I. Das „convective" Gleichgewicht in der Atmosphäre.

Bei übereinander geschichteten tropfbaren Flüssigkeiten von verschiedenem specifischen Gewicht ist ein stabiler Gleichgewichtszustand nur vorhanden, wenn sich die schwerere Flüssigkeit unten befindet. Diese Vorstellung auf ein Gas, z. B. Luft von nicht überall gleicher Temperatur übertragen, liesse bei flüchtiger Betrachtung einen stabilen Zustand derselben erwarten, nur wenn sich die wärmere Luft, die zugleich die leichtere ist, oben befindet, wie es z. B. in einem geheizten Zimmer der Fall ist. Für die freie Atmosphäre nimmt nun aber die Temperatur mit wachsender Höhe über dem Erdboden nicht zu, sondern ab. Denn es theilt sich die Erwärmung der durch die Sonne bestrahlten Erdoberfläche zunächst den unteren Luftschichten mit, während die Atmosphäre selbst direkt durch die Sonne nur unwesentlich erwärmt wird. Die freie Atmo-

sphäre muss also oben stets kälter sein, als unten. Das kann deshalb mit stabilem Gleichgewicht doch verträglich sein, weil die unteren Schichten unter höherem Druck stehen als die oberen. Erstere können darum, obwohl wärmer, doch dichter sein, als letztere. Oder umgekehrt: in grösserer Höhe kann die Luft, obwohl kälter, in Folge des geringeren Druckes doch leichter sein, als weiter unten. Wenn man daher nur die Dichtigkeitsdifferenzen der ruhenden Luft in Betracht zieht, könnte die höhere Luft beliebig kälter sein als die tiefere, bis zu dem Grade, dass die grössere Kälte in Bezug auf die Dichtigkeit den Einfluss des geringeren Druckes überwiegt: dann erst würde labiles Gleichgewicht nach dieser Ueberlegung zu erwarten sein.

Es ist aber nicht richtig, für die Entscheidung über die Stabilität des Gleichgewichtes nur die Dichtigkeitsdifferenzen der ruhenden Luft in Betracht zu ziehen, wie es erlaubt wäre für tropfbare, incompressible Flüssigkeiten. Denn in der Luft, als einem Gas, finden mit den Bewegungen in anderes Niveau, also in Stellen anderen Druckes, zugleich starke Dichtigkeitsänderungen statt, und zwar werden, da die wahre Wärmeleitfähigkeit der Luft nur sehr gering ist, hiermit zugleich Temperaturveränderungen verknüpft sein, welche nahezu gleich sind denjenigen bei adiabatischen Zustandsänderungen. In Folge dessen wird ein stabiler Gleichgewichtszustand dann vorhanden sein, wenn sich eine in Folge eines Anstosses aufsteigende Luftmasse durch die Druckverminderung adiabatisch so weit abkühlt, dass sie in dem höheren Niveau ankommend schwerer ist als die sie dort umgebende Luft. Hat sich ein Luftvolumen beim Aufsteigen bis unter die Temperatur der Schicht abgekühlt, in die es hineingelangt, so ist es dichter als diese Schicht, sinkt herunter, so dass sich der stabile Gleichgewichtszustand von selbst wieder herstellt. In demselben Falle wird dann eine nach unten gestossene Menge sich durch die Compression so weit erwärmen, dass sie wärmer ist als die tieferen Schichten, in die sie gelangt; sie wird also von selbst wieder in die Höhe getrieben. Ist dagegen an der höheren Stelle eine solche Temperatur vorhanden, dass die adiabatische Abkühlung beim Aufsteigen gerade den Werth der Temperatur an dieser höheren Stelle erlangt, so ist der indifferente Gleichgewichtszustand vorhanden. Nur wenn die in der höheren Schicht vorhandene Luft kälter ist, als der adiabatischen Abkühlung beim Aufsteigen entspricht, ist der Zustand labil. Eine in die Höhe gestossene Luftmasse ist dann in der höheren Schicht leichter als die umgebende Luft und steigt deshalb mit Beschleunigung noch weiter in die Höhe. In diesem Fall würde auch ein nach unten gestossenes Theilchen sich durch die Compression zwar erwärmen, aber noch wärmere Schichten vorfinden, so dass es noch weiter nach unten getrieben wird.

Sir *William Thomson* hat zuerst erkannt, dass sich in dieser Weise in der normalen atmosphärischen Luft, wenn die stets vorhandenen auf- und absteigenden Luftströme sie durcheinander rühren und alle weiteren Störungen abwesend sind, ein indifferenter Gleichgewichtszustand ausbilden muss, indem ein aufsteigender Luftstrom sich durch die Druckverminderung adiabatisch gerade so weit abkühlt, dass er in dem höherem Niveau stets diejenige tiefere Temperatur vorfindet, welche er selbst annimmt. Umgekehrt finden absteigende Luftströme in der tieferen Region jedesmal diejenige höhere Temperatur vor, die ihnen selbst durch die Druck- und Dichtigkeitsvermehrung zukommt. Einen solchen Temperaturzustand in der Luft nennt Sir *William Thomson* den des convectiven Gleichgewichts. Das convective Gleichgewicht stellt sich, einmal gestört, durch die auf- und absteigenden Winde immer von selbst wieder her.

Aus dem vorhin Gesagten erhellt, dass ein stabiler Zustand vorhanden ist, wenn die Temperatur in der ruhenden Luft mit wachsender Höhe langsamer abnimmt, als dem indifferenten convectiven Gleichgewicht entspricht; nimmt sie dagegen schneller ab, so ist ein labiler Zustand vorhanden.

II. Die theoretische Formel für die Temperaturabnahme der Luft mit der Höhe.

1. In trockener Luft.

Das Gesetz, nach dem die adiabatische Abkühlung einer aufsteigenden Luftmasse stattfinden muss, lässt sich aus der mechanischen Wärmetheorie leicht ableiten, wenn man die Luft als ein ideales Gas betrachtet und von der Feuchtigkeit zunächst absieht. Allgemein bedeute dQ eine unendlich kleine, dem betrachteten Gasquantum von der Masse 1 zugeführte Wärmemenge (in Calorieen), c_v die specifische Wärme bei constantem Volumen, ϑ die absolute Temperatur, p den Druck und v das Volumen der Masseneinheit; ferner J das mechanische Wärmeäquivalent. Dass es zweckmässig ist, letzteres in Kilogramm und Meter als Einheiten auszudrücken, werden wir im Verlauf unserer Rechnung erkennen; dann müssen auch in den übrigen Grössen kg und m als Einheiten genommen werden. Bei Einführung der vorstehenden Bezeichnungen wird die Gleichung des ersten Hauptsatzes der Thermodynamik:

$$J \cdot dQ = J \cdot c_v \cdot d\vartheta + p \cdot dv.$$

Wir wollen neben ϑ als unabhängige Variable p statt v einführen; da nach den Gasgesetzen

$$v = \frac{R\vartheta}{p}$$

so folgt

$$dv = \frac{R}{p} d\vartheta - \frac{R\vartheta}{p^2} dp$$

und die Gleichung des ersten Hauptsatzes wird:

$$J \cdot dQ = (J \cdot c_v + R) d\vartheta - \frac{R\vartheta}{p} dp$$

oder da $R = J \cdot (c_p - c_v)$, wird:

$$J \cdot dQ = J \cdot c_p \cdot d\vartheta - v\,dp$$

Für adiabatische Zustandsveränderungen ist $dQ = 0$ und also

$$J \cdot c_p \cdot d\vartheta = v\,dp \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (1)$$

Für die Abnahme des Druckes mit der zunehmenden Höhe x folgt, wenn μ die Dichtigkeit des Gases und g die Schwerebeschleunigung ist:

$$-dp = \mu \cdot g \cdot dx$$

und da das Volumen v der Masseneinheit identisch gleich $1/\mu$ ist, weiter:

$$v\,dp = -g \cdot dx$$

Dies in Gl. (1) eingesetzt, gibt:

$$J \cdot c_p \cdot d\vartheta = -g\,dx$$

oder schliesslich:

$$\frac{d\vartheta}{dx} = -\frac{g}{J \cdot c_p} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (2)$$

Die rechte Seite ist, wie man sieht, von x im Wesentlichen unabhängig. Für die Abnahme der Temperatur mit wachsender Höhe ergibt sich also Proportionalität, die vor Sir *W. Thomson* schon mangels besserer Begründung nur als denkbar einfachste Annahme beispielsweise den Correctionsberechnungen bei der barometrischen Höhenmessung zu Grunde gelegt worden war.

Man kann im ersten Augenblick verwundert sein darüber, dass in der Formel (2) nicht das Verhältniss $\varkappa$ der beiden specifischen Wärmen auftritt, wie bei anderen adiabatischen Temperaturveränderungen. Sonst fragt man aber bei letzteren nach der Abkühlung für eine bestimmte Volumenvermehrung oder Druckverminderung; hier aber haben wir die veränderte Fragestellung nach der Temperaturabnahme bei einer bestimmten Erhebung dx; darum tritt nicht $\varkappa$ auf, sondern c_p.

Aus Formel (2) ist ferner ersichtlich, dass das verticale Temperaturgefälle in der Atmosphäre an verschiedenen Orten der Erdoberfläche in derselben Weise wie g variirt, also an den Polen grösser ist, als am Aequator. Diese Variation ist aber nur sehr klein.

Setzt man die Zahlenwerthe ein, so ist für eine grosse Calorie $J = 424$ Kilogramm $\times$ Meter $\times\, g$, wo aber nun das g der specielle Werth der Schwerebeschleunigung

für denjenigen Ort ist, für den die Zahl 424 gilt. Sieht man von der geringen Variabilität des g im Zähler ab, so fällt g aus (2) heraus, und setzt man noch **nach** *Regnault:*

$$c_p = 0{,}2375 \text{ grosse Calorieen pro kg und Celsiusgrad}$$

so folgt:

$$\frac{d\vartheta}{dx} = -\frac{1}{424 \cdot 0{,}2375} = -0{,}0099 \text{ Celsiusgrad pro m} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (3)$$

Auf die interessanten Schlussfolgerungen über eine sich hieraus ergebende theoretische Grenze der Atmosphäre soll nur verwiesen werden; vgl. z. B. den in kurzem erscheinenden Bd. VI der *Helmholtz*'schen Vorlesungen über theoretische Physik: Theorie der Wärme.

2. In feuchter Luft.

Wir wollen hier nur den Fall ins Auge fassen, dass die Luft stets hinreichend entfernt bleibt von der Sättigung, so dass keine Condensation eintritt. Dann ist in den vorstehenden Formeln nur die Aenderung anzubringen, dass an Stelle von c_p für trockene Luft in Gl. (2) die entsprechende specifische Wärme c'_p für Luft von der betreffenden Feuchtigkeit zu setzen ist. Dieser Werth von c'_p wäre aus dem obigen c_p und aus der specifischen Wärme ungesättigten Wasserdampfs, die nach *Regnault* $= 0{,}4805$ beträgt, einfach nach der Mischungsregel zu berechnen. Für eine Temperatur von 20° C. und eine relative Feuchtigkeit von etwa 60 Procent ist die absolute Feuchtigkeit gleich 10,4 gr auf einen Kubikmeter Luft, und das Gewicht des letzteren bei mittlerem Barometerstand gleich rund 1200 gr; daraus folgt mit genügender Genauigkeit:

$$c'_p = \frac{0{,}2375 \cdot 1200 + 0{,}4805 \cdot 10{,}4}{1210} = 0{,}240$$

Setzt man diesen Werth in Gl. (2) ein, so folgt statt (3) der etwas kleinere Werth

$$\frac{d\vartheta}{dx} = -0{,}0098^0 \text{ pro m} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (4)$$

Wir müssen es uns versagen, an dieser Stelle auf die Complicationen einzugehen, welche eintreten, wenn ein aufsteigender feuchter Luftstrom sich bis zum Thaupunkt und weiter bis zu Condensation abkühlt. Es sei nur erwähnt, dass in Folge der freiwerdenden latenten Wärme des Wasserdampfes das verticale Temperaturgefälle bis auf die Hälfte und weniger herabgemindert wird. Ueber die in feuchter Luft stattfindenden Verhältnisse hat *W. v. Bezold* in einer Reihe von Abhandlungen: „Zur Thermodynamik der Atmosphäre" in den Sitz.-Ber. der Berliner Akademie sehr wichtige Schlüsse gezogen

(insbesondere in der 5. Mittheilung vom 20. April 1900, p. 356—372; s. auch Meteorologische Ztschr. 15, p. 441, Dezember 1898; und 17, p. 382, August 1900; sowie bei *Hann*, Lehrbuch der Meteorologie, Leipzig 1901, pag. 160).

III. Der thatsächliche verticale Temperaturabfall in der Atmosphäre.

Nach den grundlegenden Betrachtungen über das „convective" Gleichgewicht kann dessen Vorhandensein in der Atmosphäre nur so lange erwartet werden, als auf- und absteigende Luftströme sie durchsetzen. Wenn solche in einer Luftmasse nicht von dauernd oder immer aufs Neue wiederholt wirkenden Ursachen aufrecht erhalten werden, würde zunächst in Folge der inneren Reibung die Strömungsbewegung allmählich aufhören. Mit dem Aufhören der Strömungen würde dann weiter auch Wärmeleitung ausgleichend in Kraft treten, sodass zuletzt in der nunmehr ruhenden Luftmasse auch Temperaturgleichheit an allen Orten vorhanden sein müsste.

In der Atmosphäre sind aber thatsächlich immer Ursachen der Erzeugung von verticalen Luftströmen vorhanden, vor Allem in der wechselnden Erwärmung des Erdbodens durch die Sonnenstrahlung. Es wird darum durch die immer aufs Neue trotz der Reibung erzeugten Strömungen der ausgleichenden Wirkung der Leitung entgegengearbeitet, um so vollkommener, je stärker die Ströme sind.

Ganz ausgeschlossen wird die Leitung aber selbstverständlich niemals sein. Sie und die besonders in feuchter Luft stattfindende Absorption der Sonnenstrahlen wird unter allen Umständen bewirken, dass die höheren Schichten wärmer, also der Temperaturabfall kleiner ist, als die vorhergehenden theoretischen Betrachtungen ihn ergeben.

Werthe, die den letzteren sehr nahe kommen, hat man in der freien Atmosphäre in zwei Fällen gefunden. Erstens auf Ballonfahrten in hohen Schichten. Bis zu solchen aufsteigend hat die Luft, die an der Erdoberfläche durch Verdunstung der Flüsse und des Meeres feucht wird, den grössten Theil ihres Wassergehaltes unterwegs durch Condensation verloren, und in jenen nur wenig Wasserdampf enthaltenden hohen Schichten hat sich dann nahe der theoretische Werth für das verticale Temperaturgefälle ergeben. In den Sitzungsberichten der Berl. Acad. vom 5. Mai 1900 pag. 363 theilt Herr *von Bezold* folgende Tabelle mit, welche seinen „Ergebnissen der vom deutschen Verein zur Förderung der Luftschifffahrt von Berlin aus unternommenen wissenschaftlichen Ballonfahrten der Herren *Assmann* und *Berson*" entnommen ist. In dieser Tabelle (s. auch Meteorol. Zeitschrift, Aug. 1900, p. 382) bedeutet $\Delta t'$ und Δt die Werthe der Temperaturabnahme

pro 100 Meter, n und n' die Anzahl der Fahrten, aus denen diese Zahlen abgeleitet sind. Hierbei sind unter I die Ergebnisse aller Fahrten zu Grunde gelegt worden, während bei den unter II zu findenden, mit $\Delta t'$ und n' bezeichneten Zahlen jene Fahrten ausgeschlossen sind, bei welchem starke „Temperaturumkehr" beobachtet wurde, d. h. die Lufttemperatur stellenweise mit der Höhe zunahm. Herr *von Bezold* findet als mittlere Temperaturabnahme auf je 100 m Erhebung:

	I		II	
Zwischen	$-\Delta t$	n	$-\Delta t'$	n
0 — 1000 m	0,50	67	0,61	59
1000 — 2000 „	0,50	62	0,54	58
2000 — 3000 „	0,54	46	0,54	46
3000 — 4000 „	0,53	41	0,54	39
4000 — 5000 „	0,64	24	0,64	24
5000 — 6000 „	0,69	14	0,69	14
6000 — 7000 „	0,68	6	0,68	6
7000 — 8000 „	0,67	5	0,72	5
8000 — 9000 „	0,90	2	0,90	2

In den höchsten Regionen ist also der theoretische Werth in der That annähernd erreicht.

Auch schon bei einer Ballonfahrt der „Vega" vom 3. October 1898 (siehe Meteorologische Zeitschrift Bd. 16, p. 110, 1899) wurden, wenn auch nicht so regelmässig ansteigend, in Höhen von 5500 bis 5750 m Werthe der Abnahme bis zu 0,90° pro 100 m gefunden. Uebrigens sei bemerkt, dass unbemannte mit Registrirapparaten versehene Ballons ganz neuerdings ergeben haben, dass in Höhen über 10 Kilometer relativ wärmere horizontale Luftströme vorhanden sind, sodass also in gewissen mittleren Schichten das „convective" Gleichgewicht am besten erreicht zu sein scheint.

Den ihm entsprechenden verticalen Temperaturgradienten hat man zweitens einige Male bei Föhn als nahezu erreicht gefunden. Nach *Helmholtz* entsteht Föhn dadurch, dass auf der einen Seite der Alpen feuchte Luftströme in die Höhe steigend sich adiabatisch abkühlen, dort reichliche Niederschläge liefern, und als relativ trockener Föhn auf der anderen Seite niedersteigend dort deshalb bedeutend wärmer sind, weil sie gegenüber gleichem Niveau im aufsteigenden Strome die latente Wärme des verlorenen Wasserdampfes enthalten. Wir haben im Föhn also einen trockenen absteigenden starken Luftstrom. In der That sind während des Föhns Werthe der Luftfeuchtigkeit von nur 15 oder 12, ja sogar in einem Falle von 6% gemessen worden (siehe Sprung's Lehrbuch der

Meteorologie, p. 185). Wegen dieser Trockenheit und wegen der Schnelligkeit der Strömung sind im Föhn grosse Annäherungen an den in Gleichung (3) berechneten Wert des Gradienten zu erwarten. *Hann* hat während einer Föhnperiode vergleichende Beobachtungen der verticalen Temperaturvertheilung auf beiden Seiten der Alpen angestellt. Während auf der Südseite in dem aufsteigenden Luftstrome die Temperatur nur um 0,004 bis 0,005 ° C. pro Meter Erhebung abnahm, wurde auf der Nordseite in dem absteigenden Föhn eine Zunahme von 0,0092 bis 0,0097 ° C. pro Meter Sinkens konstatirt, also der theoretische Werth recht nahe erreicht.

IV. Temperaturdifferenzen in künstlich erzeugten auf- und absteigenden Luftströmen nach Messungen von Herrn S. Löwenherz.

Die in der Einleitung auseinandergesetzten Ueberlegungen, welche nicht bloss für die Versuchsanordnung von *Krigar-Menzel* und mir, sondern auch für viele andere Fälle mit einigermassen erheblichen Niveaudifferenzen zu berücksichtigen wären, führten mich dazu, Herrn *S. Löwenherz* zu veranlassen, die Temperaturdifferenzen zwischen der höchsten und der tiefsten Stelle eines in verticaler Ebene circulirenden künstlich erzeugten Luftstromes von Laboratoriumsdimensionen zu untersuchen, welche Aufgabe er meinen Anweisungen gemäss in folgender Weise gelöst hat.

1. Princip der Versuche.

Der Luftstrom wurde erzeugt in einem rechteckigen, in sich zurücklaufenden System von cylindrischen Röhren *ABCD* (siehe Tafel) aus Zinkblech. Der Querschnitt der Röhren betrug 10 cm, die äussere Breite (*C* . . . *A*) des Systems ca. 1 m; die äussere Länge (*B* . . . *D*) ca. 1,30 m. Die Seiten *A* und *C* waren durch zwei Querstangen (*q* . . . *q*) starr miteinander verbunden. Zu Beginn einer Versuchsreihe befand sich das Röhrenrechteck in horizontaler Lage; dann wurde es um die Axe *a* . . . *a* um 90 ° gedreht, einmal in dem einen Sinn, dann im anderen Sinn, und in beiden verticalen Lagen jedesmal eine Messung der Temperaturdifferenz der Luft in (*B*) und (*D*) vorgenommen, während dabei der Luftstrom fortwährend circulirte. Dadurch wurde erreicht, dass während sonst Alles ungeändert blieb, nur die eine Hälfte des Luftvierecks gehoben, die andere gleichzeitig gesenkt wurde. Durch die Drehung nach beiden Seiten wurde eine doppelte Messung der Temperaturdifferenz bewirkt. Der mittlere Verticalabstand

der horizontalen Theile (in *B* und *D*) des Luftstromes, wie er für den gesuchten Temperaturunterschied in Betracht kam, betrug 1,21 m, sodass nach Gleichung (4), welche etwa der Zimmerluft entspricht, eine Temperaturdifferenz von $0{,}0098 \cdot 1{,}21 = 0{,}0119^0$ zu erwarten war.

Man hätte daran denken können, diese Temperaturdifferenz durch ein Thermoelement zu messen. Indessen würde man dann die Temperaturdifferenzen für zwei ganz bestimmte Punkte, an denen sich die beiden Lötstellen in (*B*) bezw. (*D*) befunden hätten, gemessen haben. Es war aber sehr wohl möglich, dass durch kleine zufällige Ursachen im Innern je eines der Rohre (*B*) und (*D*) geringe Temperaturungleichheiten vorhanden waren, so dass die Angabe des Thermoelementes dann nicht die von solchen kleinen Differenzen unabhängige mittlere Temperatur des betreffenden Niveaus ergeben hätte. Deswegen war es richtiger, die bolometrische Methode zur Messung der Temperaturdifferenzen anzuwenden und die Bolometerzweige über die ganze Länge der Röhren (*B*) bezw. (*D*) zu verurtheilen.

Die so sehr empfindliche bolometrische Methode der Temperaturdifferenzmessung beruht bekanntlich auf der starken Zunahme des galvanischen Widerstandes reiner Metalle bei Erwärmung. Diese Zunahme bewirkt in einer *Wheatstone*'schen Brückencombination, deren Galvanometer vor der Erwärmung eines Zweiges stromlos war, eine Ablenkung der Nadel. In dieser Weise Temperaturdifferenzen zu messen, hat zuerst *Werner Siemens*[1]) vorgeschlagen; ausgeführt wurde dieser Vorschlag zuerst von Herrn *Wilh. Feussner*[2]), der auch zuerst die Strahlung in dieser Weise mass und speciell die Strahlung im Spektrum zu messen beabsichtigte[3]), in Folge der mangelhaften Verhältnisse im hiesigen Institut aber diese Absicht auszuführen nicht im Stande war. Allgemein bekannt geworden sind *Langley*'s resultatreiche Messungen der Strahlung; von ihnen erhielt der Apparat den Namen Bolometer.

Die Anwendung des bolometrischen Princips auf unsere Versuche geschah noch unter Anwendung des von *Robert v. Helmholtz*[4]) eingeführten Kunstgriffes, zwei gegenüberliegende Zweige der *Wheatstone*'schen Brücke der einen Temperatur, die beiden anderen Zweige der anderen Temperatur auszusetzen, wodurch die Ablenkung des Galvanometers verdoppelt wird. Jedes der beiden Rohre (*B*) und (*D*) enthielt daher in seinem Innern zwei Zweige der *Wheatstone*'schen Brücke.

---

1) Pogg. Ann. 129, p. 647, 1866.
2) Inauguraldissertation, Marburg, 1867.
3) Ebenda pag. 15—17; pag. 33, IV u. V.
4) Verh. d. Physik. Ges. Berlin, 7. p. 71—78, 1888.

2. Einzelheiten der Versuchsanordnung.

a) Die Bolometerzweige und ihre Zuleitungen.

Der Widerstand eines jeden der vier Zweige wurde gemäss der allgemeinen Vorschrift für Erzielung maximaler Empfindlichkeit gleich dem Widerstande des Galvanometers gemacht. Die theoretische Begründung hierfür siehe bei *W. Feussner*, l. c.; *Schwendler*, Pogg. Ann. 130, p. 574, 1867; *F. Kohlrausch*, Pogg. Ann. 142, p. 428, 1872, sowie die Inauguraldissertationen von *W. Brüsch*, Rostock 1894/95, und von *S. Löwenherz*, Greifswald 1901, pag. 23 bis 28. Für die vorliegenden Versuche des letzteren stand im Greifswalder Institut ein aperiodisches Galvanometer von *Edelmann* zur Verfügung, von dessen beiden Spulenpaaren zweckmässiger Weise die beiden von geringerem Widerstand, aber hintereinandergeschaltet verwendet wurden; das Galvanometer hatte dann einen Gesammtwiderstand von ca. 1,4 Ohm. Ungefähr ebensogross musste der Widerstand jedes der Bolometerzweige gemacht werden. Diese wurden aus Platindraht von 0,4 mm Dicke und Stücken von je 130 cm Länge hergestellt; jeder Zweig musste dann, um in eines der Rohre (B) oder (D) hineinzupassen, einmal umgebogen werden, wie in der Tafel ersichtlich. Der Draht wurde möglichst frei auf je einem leichten Holzrahmen befestigt; nach Abgleichung und nach Bestimmung der Drahtwiderstände und ihrer Temperaturcoëfficienten wurden diese Holzrahmen von der Seite her in die Röhren (B) und (D) eingeschoben, ehe diese mit den anderen Röhren (A) und (C) durch Kniestücke verbunden und das Röhrenviereck starr befestigt wurde. In der Tafel sind die Drähte in den aufgebrochen gedachten Röhren (B) und (D) eingezeichnet.

Die Zuleitungsdrähte zur Verbindung nach aussen waren an die Platindrähte angelötet und führten durch isolirt verschlossene Löcher in den Blechwandungen hinaus. Diese Drähte zur Zuleitung und die sie zur *Wheatstone*'schen Brücke verbindenden durften zusammengenommen im Verhältniss zu den Bolometerzweigen nur einen kleinen Widerstand darstellen; und ausserdem durften Erwärmungen der aussenliegenden Drähte keine in Betracht kommenden Widerstandsänderungen ergeben. Beides liess sich dadurch erreichen, dass die Zuleitungen und Verbindungen aus starkem Manganindraht (von der Isabellenhütte in Dillenburg) hergestellt wurden, welche Legirung einen von der Temperatur nahezu unabhängigen Widerstand besitzt. Zur Befestigung aller Verbindungsdrähte diente ein Schaltbrett S (siehe Tafel), aus stark mit Schellack gefirnisstem Holz, das auf die Verbindungstangen $q \ldots q$ aufgeschraubt war. Vier dicke Messingplatten p, auf der Mittellinie des Brettes in gleichem Abstand befestigt,[1]) nahmen, als die vier Ver-

1) Die Theilung der beiden mittleren Platten wird auf Seite 13 besprochen werden.

zweigungspunkte der *Wheatstone*'schen Brücke, je zwei Manganindrahtzuleitungen auf und je einen dritten Draht zur Verbindung entweder mit dem Galvanometer oder der erregenden Batterie. Die acht Manganindrähte mussten untereinander möglichst von gleichem Widerstand gemacht werden. Nach geschehener Abgleichung wurden alle Verbindungen verlötet. Die Einzelheiten der technischen Herstellung aller dieser Verbindungen, auf welche grosse Sorgfalt verwendet werden musste, siehe in der Dissertation von Herrn *S. Löwenherz*. In der Tafel sind der besseren Uebersichtlichkeit halber die Wege der Drähte nicht so gezeichnet, wie sie thatsächlich auf dem Brette verliefen.

b) Die übrigen Vorrichtungen.

Die beiden starken eisernen Zapfen $a \ldots a$, welche die Axe des Röhrenvierecks bildeten, drehten sich in Lagern auf den horizontalen Rücken *HH* zweier Böcke. Vor den jedesmaligen Drehungen waren zwei Holzstangen, quer über die Rücken der Böcke gelegt, unter (*B*) bezw. (*D*) geschoben, und hielten das Röhrenviereck in horizontaler Lage fest.

Zu möglichstem Schutz gegen äussere Temperatureinflüsse waren die Blechröhren mit dickem Tuche mehrfach umwickelt.

Der circulirende Luftstrom wurde erzeugt durch einen schiffsschraubenähnlichen Ventilator *V* mit schrägen Flügeln, dessen Axe *m* sich in der Längsaxe des Rohres *A* befand. Man sieht in der Tafel in dem aufgebrochen gedachten Ende von *A* die Lager $l \ldots l$ der Ventilatoraxe *m*, deren Ende durch den besonders abnehmbaren Deckel *d* hindurch zum äusseren Antrieb ins Freie austrat. Aus lokalen Ursachen konnte zum Antrieb des Ventilators nur ein Elektromotor verwendet werden. Obwohl dieser möglichst entfernt vom Galvanometer aufgestellt wurde, ergab seine Erregung doch eine Ablenkung der Nadel; da diese aber während der Dauer einer der Hauptversuchsreihen jedesmal ungeändert bestehen blieb — oder auch durch Drehung des Astasirungsmagneten compensirt werden konnte — störte sie die Messungen nicht. Wegen der Schwankungen in der äusseren Temperatur erwies es sich als nothwendig, die drei Messungen bei horizontaler, bei der einen, und bei der anderen verticalen Stellung des Röhrenvierecks so schnell als möglich hintereinander zu machen. Zu diesem Zweck sollte der Luftstrom während der Drehungen des Röhrenvierecks fortwährend circuliren. Um dies zu ermöglichen, wurde das Ende einer biegsamen Welle *W* ähnlich derjenigen an den Bohrmaschinen der Zahnärzte vermittelst einer Messinghülse mit dem aus *d* herausragenden Ende der Ventilatoraxe, das andere Ende von *W* mit einer kleinen auf dem Bocke *H* gelagerten

Transmissionswelle t fest verbunden. Am anderen Ende von t wiederum befand sich ein Rad, das den vom Elektromotor kommenden Schnurlauf trug. Die Länge der biegsamen Welle W reichte dazu hin, das schnelle Heben und Senken der Ecke des Röhrenvierecks zu gestatten, während der Ventilator andauernd in Rotation erhalten wurde.

3. Vorbereitende Manipulationen und Hülfsbestimmungen.

Der im Galvanometer durch eine Temperaturdifferenz erzeugte Strom ist cet. par. abhängig von der Stromstärke, den die benutzten Elemente im unverzweigten Theile der Leitung und in den Bolometerzweigen liefern. Mit jenen — drei Kupronelementen — zusammen war daher ein Regulirwiderstand und ein *Siemens*'sches Präcisions-Ampèremeter (nach *Raps*) eingeschaltet, mit Hülfe deren der Hauptstrom constant gehalten wurde; bei einer Anzahl von Versuchen auf 0,78, bei späteren auf 0,8 Ampère. Die eben genannten Hülfsapparate, ein Stromschlüssel und ein Commutator befanden sich auf einem besonderen Tisch neben der Stelle des Beobachters vor dem Scalenfernrohr.

Wenn die vier Bolometerzweige und ihre Zuleitungen auch noch so sorgfältig abgeglichen waren, so konnte dies doch unmöglich so vollkommen geschehen, dass bei festem Verbinden aller Zweige das Galvanometer in der Brücke nicht von einem wenn auch schwachen Strome durchflossen worden wäre. Zur Beseitigung der letzten Ungleichheit in den Widerstandsverhältnissen und dadurch zur Herstellung möglichster Stromlosigkeit des Galvanometers dienten die jetzt zu erwähnenden Compensatoren. Die beiden Contactplatten p (siehe Tafel) mit den Galvanometerzuleitungen waren durchgesägt, jede Hälfte mit einem Bolometerzweig, die beiden Hälften untereinander durch einen an sie angelöteten Kupferdraht von 0,9 mm Dicke und 10 cm Länge verbunden. Auf diesem Kupferdraht konnte eine Contactschneide, die mit der betreffenden Galvanometerzuleitung verbunden war, verschoben werden; war die Stellung der Schneide, welche Stromlosigkeit bewirkte, erreicht, so wurde sie durch leichtes Anziehen einer Schraube fixirt. Die genauere Beschreibung dieser von Herrn *Löwenherz* construirten Compensatoren siehe in dessen Dissertation pag. 40.

Die Bestimmung der Widerstände der Zuleitungen, jedes Bolometerzweiges und ihrer Temperaturcoëfficienten geschah nach allgemein bekannten Methoden. Jeder Zweig hatte einen Widerstand von $1{,}342 \pm 0{,}001$ Ohm; ihr mittlerer Temperaturcoëfficient war gleich 0,00388 (für vollkommen reine Metalle soll derselbe bekanntlich

gleich dem Ausdehnungscoëfficienten der Gase 0,00366 gleich sein). Um hieraus zu berechnen, welcher Temperaturdifferenz der Zweige in (*A*) und derjenigen in (*D*) je ein Scalentheil an Galvanometerablenkung entsprach, wurde folgende von *Robert von Helmholtz* benutzte Methode angewendet. An der Stelle *b* (siehe auf dem Schaltbrett *S* . . . *S* unten rechts) war eine der Bolometerzweig-Zuleitungen unterbrochen; diese Unterbrechungsstelle war für gewöhnlich durch einen kurzen dicken Draht kurzgeschlossen, dessen Widerstand als verschwindend anzunehmen war. Statt dessen konnte aber die Ueberbrückung der Unterbrechungsstelle auch durch einen Zusatzwiderstand von 0,1250 Ohm vorgenommen werden. Dann gab das Galvanometer einen Ausschlag, und ein Ausschlag von derselben Grösse wäre auch hervorgerufen worden, wenn einer der Bolometerzweige um so viele (t) Temperaturgrade erwärmt worden wäre, dass sein Widerstand um 0,1250 Ohm zugenommen hätte. Daraus folgt bei Benutzung der oben angegebenen Zahlen:

$$1{,}342 \cdot 0{,}00388 \cdot t = 0{,}1250$$

oder $t = 24{,}0^{\circ}$ bei Erwärmung eines Bolometerzweiges. Da aber gleichzeitig zwei gegenüberliegende Zweige erwärmt werden, bringt schon eine Temperaturdifferenz von 12,0° zwischen den Bolometerzweigen in (*B*) und (*D*) dieselbe Ablenkung des Galvanometers hervor wie die Hinzufügung des obigen Zusatzwiderstandes bei *b*. In dieser Weise principiell lässt sich bestimmen, welche Temperaturdifferenz einer Ablenkung der Nadel von je einem Scalentheil entspricht. Unmittelbar in dieser Weise lässt sich aber die Ausführung nicht machen, da ein Zusatzwiderstand von einer gut bestimmbaren Grösse wie 0,1250 Ohm eine viel zu grosse Ablenkung des Galvanometers bewirkt haben würde. Die Ausführung musste darum bei einer in starkem und sicher bestimmbarem Verhältniss herabgesetzten Empfindlichkeit des Galvanometers geschehen, dessen Gesammtwiderstand dabei aber ungeändert bleiben muss. Dies liess sich im Wesentlichen durch grössere Entfernung der Rollen von der Nadel bewerkstelligen; das Herabsetzungsverhältniss der Empfindlichkeit wurde durch besondere Messungen zu 1 : 123,44 bestimmt; die durch den Zusatzwiderstand alsdann bewirkte Ablenkung hätte bei ungeminderter Empfindlichkeit des Galvanometers also eine Temperaturdifferenz von obigen 12,0° dividirt durch 123,44, also von 0,0972° entsprochen. Jene Ablenkung des Galvanometers betrug, je nachdem der unverzweigte Strom auf 0,78 oder 0,8 Amp. erhalten wurde, 232,0 bezw. 239,5 Scalentheile. Daraus folgt, dass ein Scalentheil eine Temperaturdifferenz von 0,000419° bezw. 0,000406° entsprochen hätte. Je nach dem war für die theoretische berechnete Temperaturdifferenz von 0,0119° eine Ablenkung des Galvanometers von 28,4 bezw. 29,3 Scalentheilen zu erwarten.

4. Resultate.

Die definitiven Beobachtungen wurden nun in folgender Weise angestellt. Nachdem der Bolometerstrom einige Zeit geschlossen, constant geworden und auf den gewünschten Werth gebracht war, wurde der Ventilator angelassen und bei horizontaler Lage des Röhrenvierecks das Galvanometer zu Stromlosigkeit compensirt. Dann drehte ein Gehülfe das Röhrenviereck in die eine verticale Stellung, wieder zurück in horizontale, dann in die andere verticale Stellung u. s. f. Jedesmal wurde dann die abgelenkte bezw. die normale Ruhelage der Nadel so schnell als möglich bestimmt. Folgende Tabelle über die erste der definitiven Beobachtungsreihen lässt deren Auswerthung erkennen.

Die Bezeichnung v_I bedeutet, dass die Seite (B) nach oben; v_{II}, dass (B) nach unten gedreht war; h bedeutet horizontale Lage des Röhrenvierecks.

	Einstellung auf der Scala	Mittel von h	Ablenkungen
h	585		
v_I	575	582,5	− 7,5
h	580		
v_{II}	625	586,5	+ 38,5
h	593		
v_I	585	599,0	− 14,5
h	605		
v_{II}	645	610,0	+ 35,0
h	615		
v_I	600	615,0	− 15,0
h	615		
v_{II}	655	617,5	+ 37,5
h	620		
v_I	590		

Mittelwerth für v_I − 12,2

„ „ v_{II} + 37,0

Absoluter Mittelwerth + 24,6

Zunächst war zu controliren, ob der Sinn der Ablenkung einer Abkühlung der Luft in dem jedesmal höher gelegenen Schenkel des Röhrenvierecks entsprach, und einer

Erwärmung in dem tiefer gelegenen. Dass dies der Fall war, liess sich auf doppelte Weise nach einer Versuchsreihe zeigen, indem bei horizontaler Lage des Röhrenviereckes einestheils diejenige Seite, welche zuletzt unten gewesen war, nach Wegnahme der Tuchhülle durch eine Flamme oder mit der Hand erwärmt wurde; oder anderestheils, indem durch Verschiebung des Contactes am Compensator der Widerstand dieses Zweiges vergrössert wurde; der Sinn der Ablenkungen stimmte dann mit dem letzten der vorangegangenen Versuche überein.

Die in der vorstehenden Tabelle augenfällige Asymmetrie der Ablenkungen für die beiden verschiedenen verticalen Stellungen des Röhrenvierecks war allgemein vorhanden. Der Ausschlag, d. h. die Abkühlung der nach oben gebrachten Hälfte des Röhrenvierecks ist jedesmal zu gering, wenn der Schenkel (*B*) nach oben gebracht wurde (Bezeichnung v_{I} der Tabelle), in diesem Fall war also (*B*) zu warm; dagegen war die Abkühlung zu gross, wenn durch umgekehrte Drehung (*B*) nach unten gebracht wurde (v_{II}). Dann war also (*B*) ebenfalls zu warm. Es war also in jedem Fall der Schenkel (*B*) in Wirklichkeit zu warm im Vergleich zu (*D*).

Die Windrichtung für die Beobachtungen ist durch die Pfeile dargestellt (siehe Tafel), sie war also *ABCD*. Es war folgende Erklärung jener Asymmetrie möglich. Durch die schnelle Drehung des Ventilators tritt Reibungswärme in den Lagern auf. Diese Erwärmung theilt sich der umgebenden Luft mit, wird von dieser beim Fortschreiten allmählich theilweise abgegeben und bewirkt, der herrschenden Windrichtung zufolge, dass der von dem Luftstrome zunächst hinter dem Ventilator durchströmte Schenkel (*B*) stets zu warm erscheinen muss gegen (*D*), was ja auch thatsächlich der Fall war. Dann muss aber auch noch angenommen werden, dass die Reibung bei Verticalstellung grösser ist als bei Horizontalstellung, welche Annahme übrigens ganz plausibel ist. In horizontaler Lage des Röhrenvierecks ruhte die biegsame Axe in gleicher Höhe mit demselben auf einem Tisch. Beim Drehen des Vierecks in die verticale Stellung wurde die Welle mit der Hand geleitet und lief nicht so gleichmässig wie in horizontaler Lage, so dass schon dadurch die Reibung vermehrt wurde; ausserdem wurde auf die Axe des Ventilators durch die Welle alsdann ein Zug bezw. Druck ausgeübt.

Diese Erklärung konnte durch Umkehr der Ventilatordrehung controlirt werden; dann zeigte sich auch der Sinn der Asymmetrie in der That umgekehrt! Der Bolometerschenkel (*B*) erscheint jetzt in jedem Fall zu kalt gegenüber dem Schenkel (*D*). Diese Umkehrung der Verhältnisse musste eintreten, wenn die gegebene Erklärung der Asymmetrie zutreffen soll. Jetzt umströmt die vom Ventilator kommende Luft zuerst die in (*D*) liegenden Bolometerzweige und lässt diese zu warm erscheinen.

Es wäre vielleicht möglich gewesen, die durch die Reibungswärme bedingte Asymmetrie durch sorgfältige Aenderung der Construction des Ventilators zu beseitigen oder wenigstens abzuschwächen. Da jedoch die Asymmetrie keinen Fehler der als halbe Summe der Werthe v_I und v_{II} resultirenden „absoluten Mittelwerthe" hervorrief, lag kein genügender Grund vor, sich dieser grossen Mühe zu unterziehen, zumal damit noch weitere Aenderungen verknüpft gewesen wären.

Wir geben nun eine vergleichende Zusammenstellung der Resultate von sieben definitiven Beobachtungsreihen.

Nr.	*A* Beobachtet	*B* Berechnet	Verhältniss *A/B*
1	24,6		0,867
2	24,9		0,877
3	24,0	28,4	0,845
4	28,5		1,004
5	27,6		0,972
6	29,73	29,3	1,016
7	31,3		1,071

Gesammtmittel: 0,951

Im Mittel sind also die beobachteten Werthe 5 % zu klein gegen die berechneten.

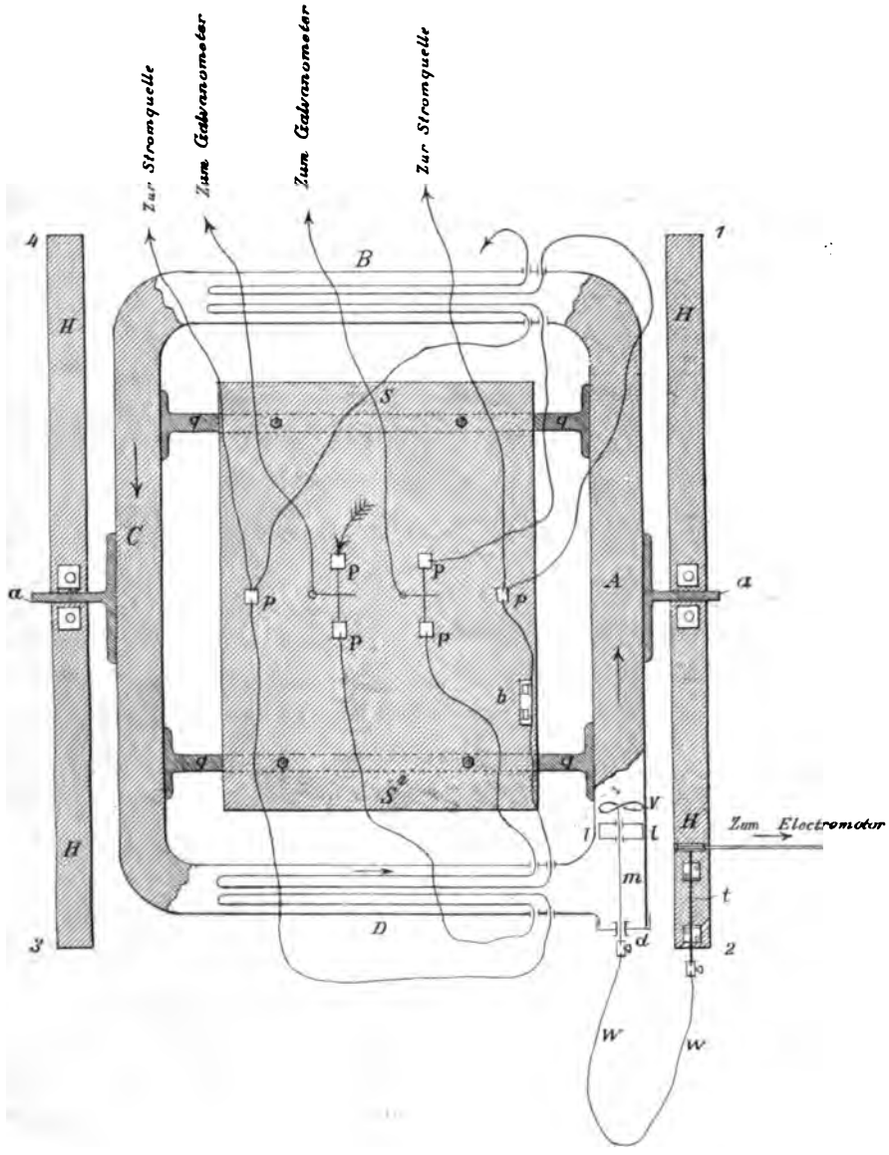
Diese in Anbetracht der zweifellos grossen Störungsquellen geringe Abweichung erklärt sich leicht erstens aus der ausgleichenden Wirkung der Wärmeleitung der Röhrenwände in ihrer Längsrichtung. Zweitens aber auch daraus, dass in der umgebenden Luft des Zimmers normaler Weise Schichtungen der Luftmassen vorhanden waren, dass also im Zimmer die Lufttemperatur mit der Höhe zunahm. Das Thermometer zeigte eine Zunahme von 0,3 bis 0,4 ° C. pro Meter. Dieser Temperatureinfluss musste sich durch Leitung mehr oder weniger dem Röhrensystem mittheilen und liess sich auch durch die Tuchumhüllung nicht völlig beseitigen. Eine solche Erklärung zu geringer Werthe scheint um so mehr begründet, als die mehrfach vorgenommenen Drehungen des Röhrensystems o h n e circulirenden Luftstrom starke Ausschläge der Nadel im umgekehrten Sinn, als bei Drehungen m i t Wind ergaben, also eine Erwärmung der in höhere Schichten gebrachten Luftmassen erkennen liessen. Beim Anlaufen des Ventilators nahm diese Temperaturdifferenz bis auf 0 ab und kehrte sich dann um. Mit zunehmender Windstärke stieg die Annäherung an den theoretischen Werth des convectiven Gleich-

gewichts. Entsprechend musste ja auch sowohl die Leitung längs der Röhrenwände, als auch diejenige durch sie hindurch immer geringeren Einfluss haben. Die Windstärke bei den mitgetheilten definitiven Versuchen wurde gemessen, indem vermittelst einer in der Rohrwandung angebrachten Klappe ein *Robinson*'sches Anemometer mit Zählwerk in den Luftstrom hineingebracht wurde. Es ergab sich eine Windstärke von etwa 6 Meter pro Sekunde. Bei einer solchen Windstärke fand sich also unter den beschriebenen Verhältnissen die obige Annäherung an den theoretischen Werth bis auf 5 %. Es scheint mir durchaus nicht ausgeschlossen, eine noch grössere Annäherung an den theoretischen Werth erhalten zu können durch Verwendung eines schlechter leitenden Röhrenmaterials und bei Benutzung kleinerer Dimensionen. Denn bei letzteren werden die Störungen durch die äusseren Temperaturdifferenzen bedeutend herabgesetzt werden können, während die bolometrische Methode mit genügender Sicherheit auch noch erheblich kleinere Temperaturdifferenzen zu messen gestattet.

V. Temperaturänderungen einer künstlich auf- und abbewegten Luftmenge nach Versuchen von Herrn M. Seddig.

In anderer Weise hat kürzlich im hiesigen Physikalischen Institut Herr *M. Seddig* die zeitlichen Temperaturänderungen in einer künstlich auf- und abbewegten Luftmenge demonstrirt. An den beiden Enden eines 2 Meter langen Holzarmes, der um eine in seiner Mitte befindliche horizontale Axe drehbar war, befestigte er je eine Glasflasche von etwa 2 Liter Inhalt, deren Luftinneres durch den Verschluss des Halses vermittelst eines durchbohrten Deckels zwar am freien Hin- und Herströmen verhindert war, während doch der Druck stets im Innern denselben Werth hatte wie in der unmittelbaren äusseren umgebenden Luft. Im Inneren der beiden Flaschen befand sich je eine der beiden Löthstellen eines Thermoelementes Platin-Eisendraht, welches durch ein Demonstrationsgalvanometer geschlossen war. Hatte der Holzarm zu Beginn eines Versuches vertikale Stellung und hatte die Galvanometernadel eine ruhige Lage angenommen, so trat bei Drehung des Holzarmes um 180° diejenige Ablenkung ein, welche einer Erwärmung der Luft in der von oben nach unten gebrachten Flasche, einer Abkühlung in der anderen entsprach. Dieser Versuch des Herrn *Seddig* eignet sich zwar besser zur einfachen Demonstration des Princips, würde aber kaum zu Messungen ebenso geeignet sein, wie die von Herrn *Lövenherz* ausgeführten Versuche.

Tafel.



Zur Stromquelle
Zum Galvanometer
Zum Galvanometer
Zur Stromquelle
Zum Electromotor

Am 19. October werde ich das Rectoramt meinem vom akademischen Senat gewählten und von Sr. Excellenz dem Herrn Minister der geistlichen, Unterrichts- und Medicinal-Angelegenheiten bestätigten Nachfolger

Herrn Theodor Birt

Doctor der Philosophie, ordentlichem Professor der klassischen Philologie und der Beredsamkeit und Director des philologischen Seminars

übergeben. Zur Theilnahme an dieser in der Universitäts-Aula Vormittags 11 Uhr stattfindenden Feierlichkeit werden die Lehrer, Beamten und Studirenden der Universität sowie deren Gönner und Freunde hierdurch ergebenst eingeladen. Der Mangel an Raum in der Aula nöthigt zu der Bitte an die nicht zur Universität Gehörigen, sich vor der Feier Einlasskarten auf dem Universitäts-Secretariat abzuholen.

Marburg, den 13. October 1902.

Jülicher.